新时期呼唤新的科研模式

——中国70年信息科技发展的回顾与思考*

李国杰

中国科学院计算技术研究所 北京 100190

关键词 信息科技，科研模式，科研效率，科技强国

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2019.10.011

1 中国信息科技70年发展成就辉煌

70年前，我国信息领域是一张白纸，如今中国是举世公认的信息产业大国。2018年我国数字经济规模已达31.3万亿元人民币，网民达8.29亿，互联网普及率59.6%。信息技术已经渗透到各行各业，普惠大众，真是斗转星移，换了人间！

评价70年的科技成就，媒体上最常引用的数据是，全国研发人员总数增长了多少倍，科研经费投入增长了多少倍，文章发表了多少，专利申请了多少……其实，科技人员数和经费投入都是成本，不是产出；文章发表数和专利申请数是科研的中间结果，不是最终影响。评价科技发展的成就应该看老百姓获得的实惠、企业竞争力的提升和国防实力的增强。微信和网上支付的普及是中国民众引以为自豪的先进信息技术应用；“东风”导弹、“辽宁号”航母等“撒手锏”中隐含着我国掌握的信息技术的威力；自2015年以来华为公司获得交叉许可后的知识产权净收入超过14亿美元，在横遭美国政府打压时，华为公司宣布向美国最大电信运营商Verizon征收超过10亿美元的专利费，彰显了中国龙头企业在信息技术知识产权上的实力。上面随手捡来的几个案例就能看出我国信息技术的贡献与进步，我们为70年来中国信息技术和产业的突飞猛进感到无比自豪！

衡量我国信息技术进步的另一个指标是看我国与发达国家的差距是否缩小。例如，无线通信技术，我们第一代引进，第二代跟进，第三代参与，第四代自主开发，第五代已开始引领全球。新中国的70年与数字电子计算机的73年历史几乎同步。以国内外推出各代第一台计算机的时间差距来衡量，第一代电子管计算机的差距是12年，第二代晶体管计算机差距是6年，由于“文革”的干扰，第三代集成电路计算机的差距扩大到9年，向量计算机的差距是7年，大规模并行机是5年，机群系统是4年，差距逐渐缩

* 根据李国杰2019年9月12日在中国科学院“中国科技70年·道路与经验”战略与决策高层论坛上的讲话整理而成
修改稿收到日期：2019年9月17日

小。2010 年“曙光 · 星云”千万亿次计算机第一次排名全球超级计算机性能第二，开启了我国高性能计算机向世界顶峰冲刺的征程，后来“天河”和“神威 · 太湖之光”超级计算机相继“登顶”，我国超级计算机的研制水平已与美国并驾齐驱。

我们已经取得骄人的进步，现在比历史上任何时候离实现科技强国的目标更近。但必须清醒地认识到，我国的科研投入不断增加，但科研的产出并没有成比例地增加。在信息领域的知识宝库中，中国人发现、发明的知识还不多；信息领域的国际标准中，以中国人的新发现和发明专利为基础的标准也很少；国际上流行的信息技术教科书上，还很少出现中国人的名字。

尽管国际局势波谲云诡，我国仍然处在发展的重要战略机遇期，但其内涵和条件发生了变化。主要的变化是发展的动力从资本和劳动力转向科技自主创新的能力，技术发展的源头从国外引进转向以国内自主研发为主。中国几千年的历史上从未像今天这样给予科学技术这么高的期盼。当今世界百年未有之大变局给中华民族伟大复兴带来重大机遇，也逼迫我们面对从未有过的巨大挑战。我们必须卧薪尝胆，发愤图强，才能从跟踪走向引领，从信息产业的中低端走向高端。不管未来的道路上有多少坎坷，我们一定能为人类文明作出与“中国人”这个响当当的名字相称的贡献。

为了提高科研效率，过去我们一直在讨论科技体制机制改革，中国科学院考虑较多的是院内机构的拆分合并、研究所的内部管理机制和科研布局等。作为对过去 70 年科研工作的回顾和思考，本文换一个角度，重点讨论科研模式的调整和改变。所谓“科研模式”（或者称为“科研范式”）是指如何开展科研工作，是强调“有序”还是“无序”，强调“线性”还是“并行”，强调“成果转化”还是“市场牵引”等。70年来我国已形成较为固定的科研模式，包括任务带学科的“两弹一星”模式，从基础研究、应用研究到成果转化的“线性模式”等。我们需要通过认真梳理，厘清哪些需要继承，哪些需要补充，哪些需要扬弃。新时期呼唤新的科研模式，我相信，新的科研模式会使我们的科研工作进入新的天地。

2 实现科技强国需要新的科研模式

2.1 践行“两条腿走路”的基本科研模式

新中国成立初期，我国明确提出“两条腿走路”的发展方针，后来在经济工作中也经常提到各种“同时并举”的方针，但在科技工作中，很少强调“两条腿走路”。其实，“两条腿走路”应该是基本的科研模式，必须努力践行。科技工作中的“两条腿”包括：有序模式与无序模式，举国体制与自由探索，任务带学科与学科引任务，自主创新与开放创新……

所谓“两条腿走路”或“同时并举”不是指不同的科研模式必须投入相同的人力和经费，而是在思想认识、科技布局和成果评价上必须置于同等重要的高度。更重要的是，要分清“两条腿”的不同功能，不要拧着来——不能用自由探索的科研模式做工程任务，也不能用管理工程任务的办法来管基础研究。我国设立的某些重大科技专项或重点科技项目，如大数据和人工智能等，目前的主要科研工作是探索新的算法、新的器件和新的解决方案，重大工程目标还不太明确，因此不宜采用兵团作战的方式。表面上将许多不同方向的基础研究拼成一个大课题，只起到一个“大口袋”的作用。相反，现在当成基础研究的工业软件可以看成新时期的“两弹一星”任务，应该采取兵团作战的方式集中力量攻关。

“两弹一星”的集中攻关模式是我国的成功经验，有利于发挥我国的制度优势，应该继承和发扬。一般而言，采用兵团作战的集中攻关模式需要满足 4 个条件：① 原理已基本清楚，任务目标明确，有可能在预定的时间内完成；② 属于受制于人的短板，

国外已经有成功的案例，多数是跟踪和追赶型的科研任务；③ 国家的重大战略需求，需要举全国之力突破关键技术；④ 国内有一定技术基础，找到了敢于并善于“啃硬骨头”的科研团队。我国国防科研有许多集中攻关成功的案例，已形成较为成熟的重大科研任务管理模式。但在民口，特别是如何在市场经济条件下采用举国体制集中攻关还少有成功案例。近年来，京东方公司和长江存储公司分别牵头突破液晶显示和闪存技术，为激烈市场竞争条件下集中攻关树立了样板。这两家公司投入达数千亿元人民币之巨，突破了国外的知识产权壁垒。

在建国初期学科薄弱的时候，“任务带学科”是推动科技进步的有效范式。但“任务带学科”只是科研工作中的“一条腿”，如果所有的科技活动都采取“任务带学科”的做法，就难以摆脱跟踪别人的局面。科技进步有其内在的逻辑和机制，知识的积累会把科学技术自身推向前进，这种进步就体现在学科的发展上。对自由探索性的科研，个人兴趣也是重要的驱动力，要尊重基础研究的灵感瞬时性、方式随意性和路径不确定性的特点。但是，信息科技是研究人造世界中信息的获取、处理、传输和存储，人造物总是有某种目的性。信息技术的重大发明，如计算机、晶体管、集成电路、光纤通信、互联网等都是为了满足人类的需求。特别是在国外反华势力千方百计阻挠中国高技术发展的时候，科技人员更应为国分忧，更有目标地开展科研工作。个人兴趣应当与国家需求结合起来，潜在的市场需求才是发展信息技术的主要动力。

应强调自主创新还是开放创新，一直存在争议。其实这也是“两条腿”，必须同时发力。华为公司就是两条腿跑步前进，走到了国际前列。即使是发展CPU这样的核心技术，也要“两条腿走路”：一条是从内向外发展，另起炉灶自主设计CPU芯片，先在国防和安全应用领域形成“根据地”，再逐步向民口市场扩展；另一条是由外向内发展，先融入国际主流，在引进消化吸收的基础上逐步掌握高端CPU的设计技术，提高安全可控水平。在民口市场上完全摆脱国外技术另起炉灶，就上了“想整我们的人”设下的“技术脱钩”的圈套。信息技术已经是全球化的技术，闭关自守一定会落后于时代。

2.2 转变线性科研模式，更加重视技术科学

二战以后，时任美国科学研究发展局主任的万尼瓦尔·布什撰写了一篇报告——《科学：无止境的前沿》，将研究工作区分为“基础研究”和“应用研究”，提出“基础研究—应用研究—产品开发”的线性科研模型。这一模型后来成为全球科研的基本模式，中国更是全面实行了这一模式，而且增添了“成果转化”的环节，现在是反思和消除这一模式负面影响的时候了。

线性科研模型的依据是科学一定先于技术和工程，只有基础研究才能发现新知识，而应用研究只是知识的应用，然而事实并非如此。科学、技术与工程是平行发展的，并无绝对先后。热力学的形成主要得益于蒸汽机的发明和改进；雷达技术主要归功于谐振腔磁控管的发明；计算机领域的进步也主要取决于数字电路、晶体管、集成电路、互联网等重大发明。诺贝尔奖得主中有许多传统意义上的工程师，而工程界的诺贝尔奖——德雷珀奖的得主中也不乏专注于基础研究的科学家。实际上，发明与发现是一个有机整体，新发现可能产生新发明，新发明也可能导致新发现，有些重大发明本身就包含新发现。因此，将基础研究和应用研究拆分为上下游关系不利于科学技术的发展。

2018年清华大学出版社翻译出版了一本重要著作——《发明与发现：反思无止境的前沿》。该书的作者文卡特希·那拉亚那穆提曾任突飞猛进的美国加州大学圣芭芭拉分校工学院院长，他对线性科研模式做了深入的批判，提出了新的“发现—发明循环模

型”，这一新的科研模式值得我们重视。

我国基础研究投入占研究与试验发展（R&D）总投入的比例长期徘徊在5%左右，学术界反映强烈。但近几年我国应用研究的投入比例一直在下降，已从 20 世纪的 20% 降到 10% 左右，远低于发达国家 20%—50% 的投入强度，却很少听到呼吁增加的声音，岂非咄咄怪事。我国是一个发展中国家，应更加重视技术科学和应用研究。钱学森、杨振宁等科学家都曾建议我国成立技术科学院，但没有引起足够的重视。

我国正在筹建国家实验室，一些省市也在投入上百亿元的经费，争取进入国家实验室行列。国家实验室要按什么模式建设，值得我们深思。计算机界已有 70 人获得过图灵奖，但只有万维网的发明者伯纳斯 · 李一人来自国家实验室——欧洲原子核研究所（CERN），其他得主都来自大学和企业。信息领域的许多重大发明都出自企业实验室。例如，美国贝尔实验室就发明了晶体管、激光技术、电荷耦合器（CCD）、UNIX 操作系统、数字交换机、卫星通信等基础技术。贝尔实验室是发现与发明结合得最好的实验室之一，我国应吸取其成功的经验。

改变线性科研模式，就是要打破基础研究和应用研究的界限，不是按所谓一级学科的框架以发表更多的学术论文为目标，而是要以探索未知世界、让人类生活更美好为目标，围绕要解决的科学问题和国家及社会的需求，跨学科地开展科研工作。信息领域应侧重于基础性的重大发明，以需求驱动科研。所谓“跨学科”研究不是单学科研究的补充，而应该是科学研究的主流。令人不解的是，近几年我国走了一条相反的学科发展道路，不断地拆分学科，另建了好几个独立构成上下游的新一级学科，如软件工程、网络安全、人工智能等，这种“占山头”的方式难以做出基础性的重大发明。

2.3 改变成果转化模式，推动企业真正成为创新主体

许多人认为我国科技和经济是相互脱离的“两张皮”，科技成果很多，但成果转化不畅，只要做好科技成果转化，经济就会高速发展。这样的判断不符合实情。而且，随着企业的创新能力提高，所谓“成果转化”的神话会越来越落空。1985 年，中国科学院就与深圳市合作，建立了国内最早的成果转化“科技工业园”，实施了许多优惠政策；但到 1993 年底，深圳市符合高新技术企业认定标准的 44 家高科技公司都在科技园外，“深圳科技工业园”的发展并不成功。时任中国科学院院长周光召为此专门召开了一次座谈会，了解情况后颇有感慨地总结：“看来技术不是问题的关键，是制度。”

周光召看到了问题的本质。所谓“成果转化”不是技术发展的客观规律，国外一般只讲技术转移，不提成果转化，更没有所谓“成果转化率”一说。我国信息领域也没有一个成功的企业是靠成果转化做大做强的。科研需要一个“报奖”的“成果”，而所谓“成果”需要从大学和科研机构转移到企业，这是中国的科技发展历史和制度造成的。改革开放以前，我国的国有企业基本上都是加工车间，制度上就不允许做研究开发。目前，我国科研队伍的精兵强将集中在大学和科研机构的国家重点实验室，一半以上的中国科学院院士、40% 以上的“杰青”工作在国家重点实验室。与之对照的是，截至 2016 年，全国 177 个企业国家重点实验室只有 9 名“杰青”、71 名“千人计划”入选者。从人力资源上看，企业还没有真正成为创新的主体。这种局面不改变，科技和产业的关系就一定是扭曲的。“成果转化”的基本思路是从技术出发找市场，这是违背企业发展规律的做法——成功的企业几乎都是根据市场找技术。一旦企业真正有了对技术的需求，一定会千方百计吸收有价值的技术，不需要大学和科研机构漫无目的地做“成果转化”。

如果把关键技术比喻成一头牛，它的四条腿就是大学和科研机构的基础研究。要想让一头牛迈步向前走，动员再多的人来抬牛腿是无济于事的，只有牵着

牛鼻子，牛才会迈步，牵引关键技术“牛鼻子”的力量就是市场。市场驱动的关键技术突破是我国的明显短板。不管是过去的“863”计划，还是近几年的重点研发计划，鲜有产生核心知识产权从而占领国际市场的成功商业案例。工程性的技术创新是在成本、时间、兼容性、标准、人力等强约束条件下的创新，没有走出实验室的科研人员不可能理解这些约束条件。

长期以来，我国科技计划的操作模式基本上是，由大学和科研机构的专家根据技术发展趋势决定做什么，企业的实际需求很难反映到课题指南上。最近大家都在讨论我国技术的“短板”，但真正感受到“卡脖子”痛苦的是企业。对于“补短板”技术，我们应当改变科技立项的传统做法，采取骨干企业出题，真正有能力的科技人员揭榜应答的方式，将人力物力花在最该花的地方。

令人高兴的是，我国企业的研发投入正在迅速提高。2018 年入选全球创新 1 000 强的中国企业研发支出达到 600.8 亿美元，同比增长 34.4%。信息领域已经冒出一批有技术实力的龙头企业，企业实力的增强将使我国的技术转移走上良性发展轨道，推动大学和科研机构往高处走，向源头创新方向发展。但总体来讲，我国企业的科技实力还不强。美国科技类上市公司总市值约为 7.72 万亿美元；而中国科技类上市公司总市值只有 2.08 万亿美元。我国企业向高端发展的主要困难是，真正对企业有价值的技术供给不足，企业的技术创新能力薄弱。我们必须从思想上认识到这一问题的严重性和紧迫性，从国家经济转型的高度重视这一涉及高质量发展全局的战略问题，制定有力度的政策，切实提高企业的创新能力，使企业真正成为创新主体。



李国杰　中国工程院院士、发展中国家科学院（TWAS）院士。中国科学院计算技术研究所原所长、研究员，兼任中国科学院科技战略咨询研究院科技智库特聘研究员。1943 年出生于湖南，1985 年在美国 Purdue 大学获得博士学位。主要从事并行算法、高性能计算机、互联网、人工智能等领域的研究，发表了 150 余篇学术论文，出版《创新求索录》个人文集。主持研制“曙光-1000”等计算机，获国家科技进步奖一等奖等奖励。

E-mail: lig@ict.ac.cn

■责任编辑：岳凌生